

KAJIAN POTENSI ECO-AIRPORT UNTUK BANDARA SULTAN ISKANDAR MUDA

Sri Mulyani ¹⁾, Dedet Hermawan Setiabudi ²⁾, Diananto Prihandoko ³⁾

¹⁾ Teknik Dirgantara/ Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA) Yogyakarta

²⁾ Teknik Mesin/ Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA) Yogyakarta

³⁾ Teknik Lingkungan/ Institut Teknologi Yogyakarta

email: srimulyani042@gmail.com¹⁾; dedetsetiabudi8@gmail.com²⁾; dito1921@ity.ac.id³⁾

ABSTRAK

Implementasi panel surya bertujuan untuk mengatasi kegagalan suplai listrik PLN, menghemat biaya listrik dan menurunkan emisi gas karbon terhadap lingkungan dalam langkah mendukung konsep bandara dengan green energy atau Eco-Airport, dalam metode perhitungannya menggunakan analisa komponen, pengaruh suhu dan juga dari segi ekonomi pada investasi awal proyek. Analisis didapatkan daya yang dapat disuplai oleh PLTS Hybrid dengan penyimpanan 88 buah baterai untuk didistribusikan ke Critical Load adalah 337,879 Wh, dan dibutuhkan modul surya sebanyak 192 unit dan inverter berjumlah 11 buah. Dalam rencana proyek PLTS ini membutuhkan lahan instalasi sebesar 357,525 m². Untuk kondisi pengaruh cuaca diasumsikan 6 bulan cerah dan 6 bulan hujan sehingga rata-rata listrik yang dihasilkan perhari adalah 188,155 Kwh. Dalam aksi mitigasi emisi gas karbon PLTS yang direncanakan dapat mereduksi 188,15 kgCO₂ perhari.

Kata kunci: Emisi,eco-airport dan listrik

STUDY ON ECO-AIRPORT POTENTIAL FOR SULTAN ISKANDARMUDA

ABSTRACT

The aim of implementing solar panels is to overcome the failure of PLN's electricity supply, save electricity costs and reduce carbon gas emissions to the environment in a step to support the concept of an airport with green energy or Eco-Airport, the calculation method uses component analysis, the influence of temperature and also from an economic perspective. on the initial investment of the project. The analysis shows that the power that can be supplied by PLTS Hybrid with storage of 88 batteries for distribution to Critical Load is 337,879 Wh, and 192 units of solar modules and 11 inverters are needed. In this PLTS project plan, an installation area of 357,525 m² is required. For weather conditions, it is assumed that there are 6 sunny months and 6 rainy months so that the average electricity produced per day is 188,155 Kwh. In the planned PLTS carbon gas emission mitigation action, it can reduce 188.15 kgCO₂ per day.

Key words: Emissions, eco-airport and electricity

PENDAHULUAN

Eco Airport merupakan bandara yang berfokus pada keberlanjutan lingkungan dan pengurangan dampak lingkungan dari operasinya. Ini mencakup upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, efisiensi energi, pengelolaan air, dan penggunaan bahan-bahan yang ramah lingkungan, sedangkan menurut Airport Council International (ACI) mendefinisikan Eco Airport sebagai bandara yang berkomitmen untuk mengurangi dampak lingkungan dan sosialnya, mencapai efisiensi sumber daya, dan mempromosikan pertumbuhan berkelanjutan di komunitasnya. Sustainable Aviation merupakan Organisasi Sustainable Aviation di Inggris menggambarkan Eco Airport sebagai bandara yang berfokus pada meminimalkan dampak lingkungan, termasuk emisi karbon, melalui penggunaan teknologi dan praktik berkelanjutan, serta mempromosikan inovasi dan kerjasama dengan pihak terkait.

Indonesia merupakan negara yang berpotensi mengembangkan eco-airport karena sumber energi listrik di Indonesia masih banyak mempergunakan hasil konversi dari energi fosil seperti batubara, gas dan minyak bumi. Sumber energi fosil ini semakin lama semakin berkurang dan harganya terus naik dan menyumbang tidak sedikit emisi gas karbon yang dilepaskan ke udara. Memasuki abad 21, persediaan minyak dan gas bumi semakin menipis, sementara kebutuhan energi semakin meningkat, utamanya di negara-negara industri meningkat sampai 70% antara tahun 2000 sampai dengan 2030. Di Indonesia cadangan minyak bumi akan tersedia hingga 9,5 tahun mendatang, sementara umur cadangan gas bumi Indonesia mencapai 19,9 tahun, dan cadangan batubara Indonesia saat ini mencapai 38,84 miliar ton maka umur cadangan batubara masih 65 tahun apabila diasumsikan tidak ada temuan

cadangan baru (Menteri ESDM : Cadangan Minyak, Gas Bumi dan Batubara, 2021). Sumber energi terbarukan (Renewable Energy), seperti energi matahari, angin, tenaga air, dan biomassa merupakan sumber - sumber energi alternatif ramah lingkungan yang perlu dikembangkan secara lebih luas di masa mendatang.

Pada industri bandar udara kestabilan suplai listrik sangat penting bagi kelancaran operasional penerbangan, dimana seluruh fasilitas yang tergolong Critical Load yang vital dalam proses landing dan take-off nya sebuah pesawat udara. Sehingga cadangan pembangkit harus tetap mendistribusikan selama beroperasinya Bandar Udara. Berdasarkan dari sumber data penelitian lapangan saat ini Angkasa Pura II Banda Aceh memiliki sistem 3 set generator sinkron sharing load dengan catu daya sebesar 3000 KVA sebagai sistem cadangan yang masih harus memiliki jeda waktu 10-20 detik apabila terjadi kegagalan suplai listrik PLN seperti undervoltage, namun kinerjanya belum terlalu maksimal. Oleh sebab itu salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah energi matahari, dengan membangun pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem PLTS Hybrid diharapkan dapat mendistribusikan di saat kendala suplai listrik terjadi, dengan kinerja operasional yang lebih baik, dimana nantinya sistem kerja PLTS yang di lengkapi dengan baterai akan membackup saat terjadi Critical Load. Untuk Intensitas radiasi matahari di area bandara di rasa cukup untuk membuat sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan rata- rata intensitas radiasi pertahun sebesar 1757.1 kWh/m², dan 4.8 kWh/m² perhari. Pada penelitian (Zakiati, 2018) "Perbandingan Biaya Beban Listrik yang disuplai oleh PT PLN dengan beban generator set di Bandara Sultan Iskandar muda, Banda Aceh", untuk memenuhi kebutuhan listrik pihak perusahaan belangan daya dari PT.PLN, akan tetapi energi yang dibutuhkan tidak dapat memenuhi sepenuhnya. Saat ini perkembangan sumber energi listrik yang dikelola oleh PLN belum bisa mengimbangi besarnya kebutuhan energi listrik. Hal tersebut tidak terlepas dari semakin sulitnya bahan bakar yang harus digunakan oleh PLN untuk membangun pembangkit-pembangkit energi listrik. PLN terus berupaya keras untuk memenuhi kebutuhan dengan mencoba beberapa energi alternatif di luar energi konvensional yang digunakan PLN saat ini. Dibutuhkan backup power yang handal untuk menjaga aliran listrik tetap tersuplai dengan baik. Langganan daya di PLN adalah 2,18 MW, dengan biaya perbulan adalah Rp.385.034.945 (Tiga ratus delapan puluh lima juta tiga puluh empat ribu sembilan ratus lima puluh empat puluh lima rupiah).

Penelitian (Emilia Roza, M. Mujirudin, 2019) yang berjudul "Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik UHAMKA", Sistem PLTS dapat dikembangkan di Fakultas Teknik UHAMKA menggunakan system PLTS hybrid dengan suplai listrik PLN. Penggunaan daya rata-rata di FT UHAMKA dalam 10 bulan terakhir adalah 567,20 kWh. Suplai listrik yang direncanakan di cover oleh sistem PLTS adalah sebesar 10%. Sehingga daya yang harus dibangkitkan dari PLTS perhari adalah 56,72 kWh. Sel surya atau solar cell adalah perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan prinsip efek photovoltaic. Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor yang berbeda muatan. Lapisan atas bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya adalah silikon. Sel matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan foton. Ketika sel surya terkena matahari, partikel foton pada matahari menghantam atom semikonduktor pada sel surya.

Pada analisis ini penulis menggunakan panel surya jenis monokristal dengan tipe TSM-DEG15M 410Wp Monocrystalline, Panel ini memiliki tingkat efektifitas yang tinggi dalam menyerap energi listrik dari cahaya matahari dan optimal dalam mendistribusikan energi listrik. Dengan berkapasitas 410 Watt solar panel mono ini memiliki kualitas yang bisa diandalkan dengan tingkat degradasi rendah. Solar panel bersertifikasi ISO 9001, ISO 14001, ISO14064 dan OHSAS 18001 ini memenuhi standar untuk pembangunan sistem PLTS On-Grid, Off-Grid dan Hybrid, baik dalam skala kecil, menengah, ataupun skala besar. Komponen utama dari PLTS adalah PV Modul atau modul surya terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya silikon) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Sebuah sel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel. Gabungan dari panel-panel ini akan membentuk suatu *Array*.

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi kinerja panel surya dalam menghasilkan daya. Hal dibawah ini tentulah sangat penting untuk diperhatikan agar efisiensi kinerja panel surya dapat dimaksimalkan. Idealnya solar panel bekerja pada temperature standar 25°C. Seiring dengan meningkatnya suhu, maka efisiensi kinerja panel juga menurun. Kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal panel surya akan melemahkan tegangan (Voc) yang dihasilkan. Setiap kenaikan

temperature panel surya 1°C (dari 25°C) akan mengakibatkan berkurang sekitar 0,5% pada total tegangan (daya) yang dihasilkan.

Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Nomor : P5/PPI/SET/KUM I/12/2017 tentang “Pedoman Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Untuk Aksi Mitigasi Perubahan Iklim” Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit yang menggunakan tenaga surya yang tidak menghasilkan emisi GRK. Capaian penurunan emisi kegiatan mitigasi PLTS dihitung dari selisih nilai emisi baseline dengan nilai kegiatan mitigasi. Tingkat emisi PLTS sama dengan nol sehingga penurunan emisi dicapai sama dengan emisi baseline. Data aktifitas PLTS yang digunakan adalah jumlah produksi listrik yang dihasilkan selama satu tahun

METODE PENELITIAN

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan suatu metode penelitian yang menghasilkan data deskriptif analitis yaitu apa yang dinyatakan atau diinformasikan oleh responden secara tertulis maupun lisan dan juga perilakunya secara nyata, yang diteliti dan dipelajari sebagai suatu yang utuh dalam arti penelitian yang memberikan gambaran yang benar mengenai objek permasalahan (Sugiyono: 2011)

Pada penulisan ini, objek yang dijadikan penelitian yakni tipe dan kapasitas solar panel untuk pengaplikasian solar panel untuk bandara Sultan Iskandar Muda Banda Aceh, serta berapa daya yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan listrik di bandara sultan iskandar muda banda aceh. Lokasi tempat melakukan penelitian ini yaitu pada Unit kerja Electrical & Mechanical Facility PT. Angkasa Pura II (Persero) Bandar Udara Sultan Iskandar Muda Banda Aceh.

Proses pengambilan data penelitian adalah bagian penting dalam penelitian. Sehingga data-data yang dikumpulkan adalah data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya. Data-data yang dikumpulkan tersebut yaitu:

- a) Sumber data
 - 1) Data primer yaitu data yang diperoleh langsung di lapangan melalui penelitian untuk tujuan tertentu atau dalam rangka kegiatan tertentu. Data primer dapat diperoleh melalui Teknik wawancara atau pengamatan visual dan selanjutnya akan diolah.
 - 2) Data sekunder yaitu data yang diperoleh dari dokumen atau bahan pustaka, literatur, jurnal dan karangan ilmiah yang ada kaitannya dengan penelitian.
- b) Data yang dibutuhkan
 - 1) Data beban listrik Bandara
 - 2) Data radiasi matahari
 - 3) Data komponen PLTS
 - 4) Data Pemakaian Listrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perencanaannya daya PLTS akan dibangun sebesar 340 kWp sesuai rencana project Eco-Airport 2021-2030. Untuk radiasi matahari di area Bandara Sultan Iskandar Muda Banda Aceh yang terletak di Cot Madhe, Kecamatan Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar, terbilang cukup memenuhi standar untuk pembangunan sebuah PLTS dengan jam radiasi matahari, dimana nilai radiasi matahari 4,8 kWh/m² perhari. Setelah mengetahui radiasi selanjutnya beban daya di Bandara Sultan Iskandar Muda meliputi beberapa Service Facility yang menunjang kelancaran operasional penerbangan. Listrik didistribusikan ke beberapa fasilitas antara lain DPPU, Passenger Terminal (Conveyor, garbarata, lift dan eskalator), Gedung administrasi, APP, Tower ATC, Apron, Cargo dan beberapa lainnya. Berdasarkan data yang penulis dapatkan pada penelitian di lapangan, kebutuhan daya tersebut dirincikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Beban Listrik Bandara SIM

ID_BUS	Service Facility	Beban Listrik/Daya
DPPU	Depot Pengisian Pesawat Udara	118,50 kW

AOB	<i>Administration Building</i>	73,056 kW
APP	<i>Approach Control Office</i>	150,56 kW
CG	Cargo	52,72 kW
MPH-TO	<i>Main Power House</i>	19,02 kW
RA	Parking Area	16,24 kW
TH10	Tower Area	42,8 kW
OB	<i>Operational Building</i>	89,84 kW

Untuk menghitung teknis PLTS, ada beberapa aspek yang harus diperhitungkan terlebih dahulu seperti kehilangan daya saat panel tidak dalam suhu standar, efisiensi panel, dan luas area panel yang selanjutnya dapat diperhitungkan untuk mengetahui berapa daya maksimum yang dihasilkan oleh PLTS, berapa banyak panel dan jumlah baterai yang akan menyimpan daya PLTS.

Luas area array diperhitungkan dengan tujuan untuk mengetahui luas area modul dalam membangun PLTS. Sebuah system PLTS salah satu perhitungan dasar yaitu menghitung daya keluaran maksimum dari 1 buah panel surya saat terjadinya kenaikan suhu disekitar pembangkit listrik tenaga surya. Besaran daya listrik yang akan disuplai oleh PLTS adalah 321.790 Watt.

Nilai insolasi rata-rata harian matahari (G) tahun 2022, yaitu sebesar 4.8 kWh/m². Panel yang akan digunakan yaitu panel surya berkapasitas 410 Wp tipe TSM-DEG15M dengan spesifikasi efisiensi hingga 20,2%. Alasan penulis menggunakan panel surya ini dikarenakan *monocrystalline* merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi.

Dari rincian kebutuhan daya di atas, total daya beban fasilitas operasional bandara yaitu sebesar 1.575,25 kW. Namun pada penelitian ini daya PLTS akan di lokalisir untuk memenuhi kebutuhan beban *Critical Load* dimana beban harus membutuhkan daya yang selalu *stand by* dalam kondisi PLN padam, *Undervoltage* dan *Overvoltage*. Beban *Critical Load* tersebut terdapat pada table 2.

Bandara Sultan Iskandar Muda Banda Aceh mempunyai luas area Array PLTS adalah sebesar 357,47 m². Untuk lahan instalasi di area Bandara Sultan Iskandar Muda Banda Aceh lahan tersedia sebesar 3.333,05 m², yang terletak masih di area Electrycity & Mechanical PT. Angkasa Pura II (Persero).

Dengan tersedianya lahan yang cukup maka sistem instalasi PLTS yang akan di terapkan adalah *Ground-Mounted* seperti terlihat pada gambar4.1.



Gambar 1 Area Instalasi Panel

Tabel 2 Data Beban *Critical Load* Bandara SIM

ID_BUS	Service Facility	Beban Listrik/Daya
R17	Runway 17 - ALS - PAPI - Runway Lighting	88,110 Watt
R35	Runway 35 - ALS - PAPI - Runway Lighting	83,120 Watt

Untuk menghitung teknis PLTS, ada beberapa aspek yang harus diperhitungkan terlebih dahulu seperti kehilangan daya saat panel tidak dalam suhu standar, efisiensi panel, dan luas area panel yang selanjutnya dapat diperhitungkan untuk mengetahui berapa daya maksimum yang dihasilkan oleh PLTS, berapa banyak panel dan jumlah baterai yang akan menyimpan daya PLTS.

Luas area array diperhitungkan dengan tujuan untuk mengetahui luas area modul dalam membangun PLTS. Sebuah system PLTS salah satu perhitungan dasar yaitu menghitung daya keluaran maksimum dari 1 buah panel surya saat terjadinya kenaikan suhu disekitar pembangkit listrik tenaga surya. Besaran daya listrik yang akan disuplai oleh PLTS adalah 321.790 Watt.

Idealnya solar panel bekerja pada temperature standar 25°C. Namun kondisi saat langsung dilapangan selalu berubah-ubah. Sehingga setiap kenaikan temperature 1°C dari temperature standar panel surya, maka akan mengakibatkan daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang sekitar 0,5%. Data temperature di area Banda Aceh pada dalam rentang waktu 2022 (Berdasarkan website <https://globalsolaratlas.info>) adalah sebesar 27,5°C.

Nilai insolasi rata-rata harian matahari (G) tahun 2022, yaitu sebesar 4.8 kWh/m². Panel yang akan digunakan yaitu panel surya berkapasitas 410 Wp tipe TSM-DEG15M dengan spesifikasi efisiensi hingga 20,2%. Alasan penulis menggunakan panel surya ini dikarenakan *monocrystalline* merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Pada Riset ini mengacu pada penelitian (Sardi Salim, dkk. 2022) total nilai investasi awal dari keseluruhan komponen PLTS adalah sebesar Rp.1.931.105.770,00 sedangkan untuk biaya operasional dan pemeliharaan didapatkan aliran kas masuk setelah dikurang dengan aliran kas keluar di tahun ke 25 yakni sebesar Rp. 482.776.442,5 dan *Net Cash Flow* (CF) didapatkan aliran kas masuk setelah dikurang dengan aliran kas keluar yakni sebesar Rp. 24.825.164.

Metode *Net Present Value* (NPV) digunakan untuk menghitung nilai bersih (*net value*) pada waktu sekarang (*present*). Menurut (Sardi Salim, dkk. 2022) metode ini menggunakan teknik *discounted cash flow* (DCF) untuk memperhitungkan nilai waktu uang dari aliran kas proyek. DCF yang digunakan adalah 5%.

Tabel 3 NPV Dasar Perhitungan Tarif LWBP

Tahun	NCF (Rp)	DF 5%	NPV (Rp)
1	24.825.164,9	0,95	23.583.906,66
2	24.825.164,9	0,91	22.590.900,06
3	24.825.164,9	0,86	21.349.641,81
4	24.825.164,9	0,82	20.356.635,22
5	24.825.164,9	0,78	19.363.628,62
6	24.825.164,9	0,75	18.618.873,68
7	24.825.164,9	0,71	17.625.867,08

8	24.825.164,9	0,68	16.881.112,13
9	24.825.164,9	0,64	15.888.105,54
10	24.825.164,9	0,61	15.143.350,59
11	24.825.164,9	0,58	14.398.595,64
12	24.825.164,9	0,56	13.902.092,34
13	24.825.164,9	0,53	13.157.337,40
14	24.825.164,9	0,51	12.660.834,10
15	24.825.164,9	0,48	11.916.079,15
16	24.825.164,9	0,46	11.419.575,85
17	24.825.164,9	0,44	10.923.072,56
18	24.825.164,9	0,42	10.426.569,26
19	24.825.164,9	0,4	9.930.065,96
20	24.825.164,9	0,38	9.433.562,66
21	24.825.164,9	0,36	8.937.059,36
22	24.825.164,9	0,34	8.440.556,07
23	24.825.164,9	0,33	8.192.304,42
24	24.825.164,9	0,31	7.695.801,12
25	24.825.164,9	0,30	7.447.549,47
Total (Rp)			350.283.076,74

Dari table 3, Metode Net Present Value (NPV) dasar perhitungan LWBP atau tarif dasar terlihat bahwa total nilai kas sampai akhir masa pakai PLTS (lifetime), yakni pada tahun ke-25 adalah sebesar Rp. 350.283.076,74

KESIMPULAN

Mitigasi Emisi gas karbon PLTS yang di kaji dapat mereduksi 188,15 kgCO₂ dalam sehari, Emisi dapat dikurangi dikarenakan PLTS tidak menghasilkan emisi, meskipun tidak secara langsung dibandara, yang artinya PLTS mengurangi pemakaian listrik PLN. Nilai investasi awal atau modal proyek pembangunan PLTS dalam pengadaan *plant and equipment* atau asset memakan biaya sebesar Rp. 1.931.105.770,00 dan Metode Net Present Value (NPV) dasar perhitungan LWBP atau tarif dasar terlihat bahwa total nilai kas sampai akhir masa pakai PLTS (lifetime), yakni pada tahun ke-25 adalah sebesar Rp. 350.283.076,74

DAFTAR PUSTAKA

1. Zakiati, (2018) "Perbandingan Biaya Beban Listrik yang disuplai oleh PT PLN dengan beban generator set di Bandara Sultan Iskandar muda, Banda Aceh", 2018.
2. I Wayan Sukadana, dkk, (2022) "Proyeksi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam mendukung Program *Ecogreen Airport* di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali".
3. Jatmiko Hadin P, (2016), "Analisis kebutuhan energi listrik di daerah Kulon Progo".
4. Eka Sulistiawati, dkk (2019) "Analisis Tingkat Efisiensi Energi Dalam Penerapan Solar Panel Pada Atap Rumah Tinggal".
5. Septian Rianto, (2020) "Optimalisasi PLTD Legon Bajak Menggunakan PLTS *On-Grid* 800 kWp Dalam Upaya Penghematan Konsumsi Bahan Bakar (Studi kasus di Karimunjawa).
6. Sri Mulyani, (2015)"Ecological engineering".
7. A. R. F. S. P. Hasyim Asy'ari, (2015) "Pemanfaatan Solar Cell Dengan PLN Sebagai Sumber Energi Listrik Rumah Tangga," Jurnal Emitor.
8. Emilia Roza, M. Mujirudin, (2019) "Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik

- UHAMKA”.
9. N. M. Karmiathi, (2011) "Rancang Bangun Modul Solar Cell Dengan Memanfaatkan Komponen," Jurnal Logic, p. 45.
 10. Syahril Yudistira, dkk, (2019) “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Di Pulau Liukang Loe Desa Bira Kecamatan Botohbahari Kabupaten Bulukumba”
 11. Ing Bagus Ramadhani, (2018)"Buku Panduan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya", Dirjen EBTKE, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) Republik Indonesia, Jakarta.
 12. Rizki Firmansyah Setya Budi, (2013) “Perhitungan Faktor Emisi CO2 PLTU BATUARA dan PLTN”.
 13. Maritha Nilam Kusuma, (2015) “FAKTOR EMISI ENERGI TIDAK TERBARUKAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK JAWA TIMUR”
 14. Sardi Salim, dkk (2021) “Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS *Rooftop* Pada Gedung Fakultas Teknik UNG”, Gorontalo.
 15. Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara No.SKEP/124/VI/2009 tentang “Pedoman Pelaksanaan Bandar Udara Ramah Lingkungan atau Eco- Airport” (2009).
 16. Kementrian ESDM Direktorat Jenderal Ketenaga Listrik “Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan Tahun 2019”
 17. Kementrian ESDM Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Kosenrvasi Enegi “Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).
 18. Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Nomor: P5/PPI/SET/KUM I/12/2017 tentang “Pedoman Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Untuk Aksi Mitigasi Perubahan Iklim”, (2017).
 19. Website, <https://globalsolaratlas.info>. Data radiasi matahari harian daerah Banda Aceh. (Di Akses, 25 Juli 2022).